

# マルチバンド移動端末 の開発

FOMAのサービスエリア拡大とネットワーク容量増加に対応するため、マルチバンド移動端末の開発を行った。この開発により都心部などトラフィック集中エリアから山間部エリアまで、最適な周波数帯を利用することが可能となる。

こいわ まさあき いのうえ ふみよし おかだ たかし  
小岩 正明 井上 文義 岡田 隆

## 1. まえがき

IMT-2000方式への周波数割当てに関しては、1992年の世界無線通信主管庁会議（WARC-92：World Administrative Radio Conference-92）において、2GHz帯を用いることが世界的に決定された。その後、2000年の世界無線通信会議（WRC-2000：World Radiocommunication Conference-2000）において、800MHz帯、1.7GHz帯、そして2.5GHz帯が追加された。これらを受けて、国内では、IMT-2000方式用にまず2GHz帯が分配された。その後、携帯電話利用者の急増による周波数資源不足と周波数有効利用[1]の観点から、従来PDC（Personal Digital Cellular）<sup>\*1</sup>方式などで使用されていた800MHz帯の再編、および1.7GHz帯の追加分配が行われ、IMT-2000方式にこれらの周波数が使用できるようになった。このような背景の中、ドコモでは総務省よりIMT-2000方式用途でこれらの周波数の割当てを受け、FOMAサービスの展開を行っている。

FOMAは、まず2GHz帯で2001年10月にサービスを開始した。その後、山間部など効率的なエリア展開を行うため、2005年6月より800MHz帯を利用したサービス（FOMAプラスエリア）を開始した。さらに最近では、FOMAサービスの加入者増加による、特に都心部におけるトラフィック集中に対応するため、1.7GHz帯を利用したサービスを2006年5月より新たに開始した。

これら周波数拡張に対して、1つの移動端末ですべてのFOMAエリアにおいて通信を行うためには、800MHz帯

\*1 PDC：日本国内で普及している第2世代移動通信方式の1つで、ドコモなどが採用している。

の搭載が必要となり、またトラフィック分散に対して通信チャンネル数確保のために1.7GHz帯の搭載も必要となった。このため、901iSシリーズにおいてデュアルバンド(2GHz/800MHz帯)移動端末を、902iSシリーズにおいてトリプルバンド(2GHz/1.7GHz/800MHz帯)移動端末を順次開発した。

本稿では、これらのマルチバンド移動端末の構成手法として、主に無線送受信部およびアンテナの実現法について述べる。

## 2. マルチバンド移動端末の基本仕様

3GPP (3rd Generation Partnership Project) TS25.101 (周波数分割複信 (FDD: Frequency Division Duplex)\*2方式用 端末無線特性技術仕様)[2]で規格化されている周波数帯域を表1に示す。このうち現状国内でIMT-2000方式用に分配されているのは、Band I, VIおよびIXの3バンドである。

表1 3GPP周波数帯域

Band	上り周波数	下り周波数	送受間隔	備考
I	1,920~1,980MHz	2,110~2,170MHz	190MHz	欧州, 日本
II	1,850~1,910MHz	1,930~1,990MHz	80MHz	米国
III	1,710~1,785MHz	1,805~1,880MHz	95MHz	欧州
IV	1,710~1,755MHz	2,110~2,155MHz	400MHz	米国
V	824~849MHz	869~894MHz	45MHz	米国
VI	830~840MHz	875~885MHz	45MHz	日本
VII	2,500~2,570MHz	2,620~2,690MHz	120MHz	欧州
VIII	880~915MHz	925~960MHz	45MHz	欧州
IX	1,749.9~1,784.9MHz	1,844.9~1,879.9MHz	95MHz	日本

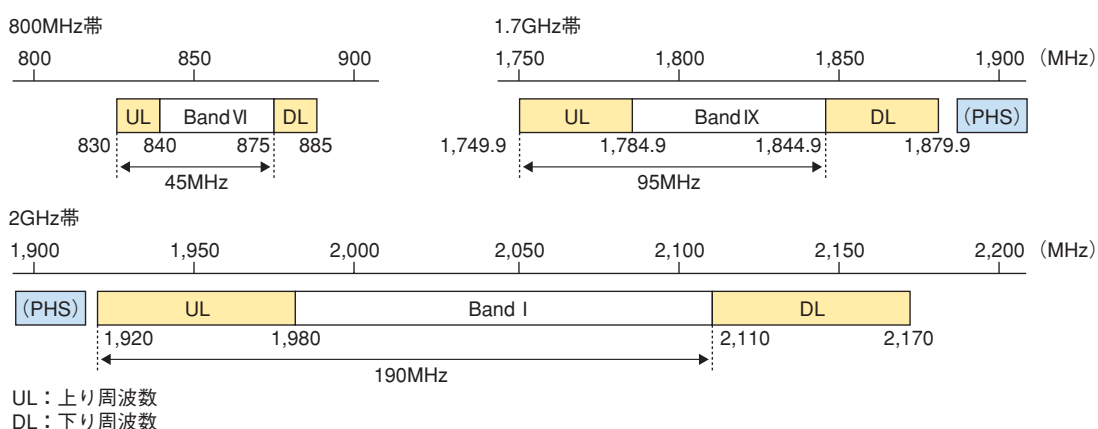


図1 国内における3GPP対応周波数帯域

る。この周波数帯域を図1に示す。今回のマルチバンド移動端末は、これら3バンドに対応している。

マルチバンド移動端末の基本仕様を表2に示す。図1に示す周波数帯域のうち、ドコモに割り当てられている帯域はその一部分であるが、将来的な国際ローミングなどを考慮し各周波数帯域すべてに対応している。

また、移動端末の小型化が求められる中で、高画素カメラ、FeliCa®\*3などのアプリケーションの多様化に伴い搭載部品数が増加してきており、無線部が使用できる実装面積は限られている。そこで本開発においては、無線部面積を900iシリーズと同等にすることを目標とした。

## 3. マルチバンド無線送受信部の実現

今回の周波数拡張はPDC800MHz方式で行われてきた近傍の周波数拡張[3]とは異なり、図1に示す3つの異なる周波数帯域に対応させる必要があった。800MHz帯の拡張に

\*2 周波数分割複信: 送信用と受信用で異なる周波数を用いて送受信する通信方式。

\*3 FeliCa®: ソニー(株)が開発した非接触型ICカードの技術方式で、同社の登録商標。

表2 マルチバンド移動端末基本仕様

送信周波数帯	Band I : 1,920 ~ 1,980MHz Band VI : 830 ~ 840MHz Band IX : 1,749.9 ~ 1,784.9MHz
受信周波数帯	Band I : 2,110 ~ 2,170MHz Band VI : 875 ~ 885MHz Band IX : 1,844.9 ~ 1,879.9MHz
送受信周波数間隔	Band I : 190MHz Band VI : 45MHz Band IX : 95MHz
チャンネル数	Band I : 275 (200kHz 間隔) Band VI : 29 (200kHz, 一部 100kHz 間隔) Band IX : 151 (200kHz 間隔)
アクセス方式	DS-CDMA
デュプレックス方式	FDD
チップレート	3.84Mcps
変調方式(データ/拡散)	上り: BPSK/HPSK, 下り: QPSK/QPSK
占有帯域幅	5MHz以下
最大送信電力	Class3 : +24dBm
隣接チャンネル漏洩電力	-33dBc (5MHz 離調) -43dBc (10MHz 離調)

BPSK (Binary Phase Shift Keying) : 2位相偏移変調。2値の情報を2つの位相状態に対応させたデジタル変調方式。

dBc : cはcarrierの略。搬送波電力との差を表している。

DS-CDMA (Direct Sequence-Code Division Multiple Access) : 直接拡散符号分割多元接続。W-CDMAに採用されている方式。

HPSK (Hybrid Phase Shift Keying) : 送信信号のピーク電力を低減させる位相変調方式。

QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) : 4位相偏移変調。4値の情報を4つの位相状態に対応させたデジタル変調方式。

については、2GHz帯と周波数間隔が大きく離れているため新しいバンドとして扱う必要があるが、1.7GHz帯の拡張は、①各部品の動作周波数範囲拡大による拡張、②1.7GHz帯を別バンドとする拡張の2つの方法が考えられる。各方法の利点と欠点を表3に示す。

①の課題については研究段階のため、現状ただちに商用利用することは難しい[4]。一方、②の課題であるW-CDMAデバイスの小型化については、これまでの端末開発ノウハウの蓄積により安定した性能が確保できるようになり、現在では小型化に向けたデバイス開発が進められている。

そこで、1.7GHz帯の拡張は性能を重視した②の方法を採

用し、部品および実装による小型化に注力することとした。今回開発した902iSシリーズ無線部構成の一例を図2に、この構成における小型化の具体例を以下に示す。

#### (1) 主要構成コンポーネントの集積化

902iSシリーズのRFIC (Radio Frequency Integrated Circuit)<sup>\*4</sup>は、900iシリーズから採用した受信機のダイレクトコンバージョン方式<sup>\*5</sup>を継承しつつ3バンド化にあたり、直交変調器のバンド共用、分周比<sup>\*6</sup>による電圧制御発信器 (VCO : Voltage Control Oscillator)<sup>\*7</sup>の1.7GHz帯/800MHz帯共用など、構成回路の工夫とICプロセスの変更 (0.3 $\mu$ mから0.18 $\mu$ mへ)により、2GHz帯シングルバンドRFICよりも小型化した。さらに、整合回路<sup>\*8</sup>など周辺回路の一部もRFIC内に取り込んだ設計とし、外付け部品を減らした。このRFICと低雑音増幅器 (LNA : Low Noise Amplifier)、段間フィルタなどを1モジュール化し、図2の送受信モジュールに示す部分に相当する実装面積を900iシリーズより約20%削減した。

#### (2) 電力増幅器 (PA : Power Amplifier) モジュール構成

複数バンドのPAモジュールを1パッケージとする構成と、近年主流となっている3 $\times$ 3mmサイズの超小型PAモジュールについて経済性と実装面より比較検討を行った。その結果、各バンドで独立していた方が、デュアルバンド移動端末とデバイス流用が可能であり、実装レイアウトや配線に柔軟性があることから、各バンドを完全に独立させた3系統構成とした。この構成により、900iシリーズと比較して全バンドにおいて電力付加効率<sup>\*9</sup>の向上を実現したうえで、面積増を約2.5倍に抑えることができた。

#### (3) アンテナ共用器構成

900iシリーズ以前の移動端末では誘電体アンテナ共用器を使用していたが、これは移動端末を構成している部品の中で大型であるため、マルチバンド移動端末の実現

表3 1.7GHz帯拡張方法比較

	拡張方法	利点	欠点
①	各部品の動作周波数範囲拡大による拡張	・部品数の増加がないため、占有面積、重量増大を抑えられる	・広帯域化によるPA効率低下、LNAのNF劣化が懸念 (通話時間短縮、受信感度劣化)
②	1.7GHz帯を別バンドとする拡張	・各バンドに最適化された部品が利用可能なため、現状と同等以上の性能が確保できる	・部品数の増加が多く、占有面積、重量増大が懸念

NF (Noise Figure) : 雑音指数。入力信号のSN (信号対雑音) 比と出力信号のSN比の比。

\*4 RFIC : 高周波集積回路のこと。移動端末の高周波アナログ送受信回路などに利用されている。

\*5 ダイレクトコンバージョン方式 : アンテナから入力されたRF信号を、中間周波数を介さず直接ベースバンド信号へ変換する方式。

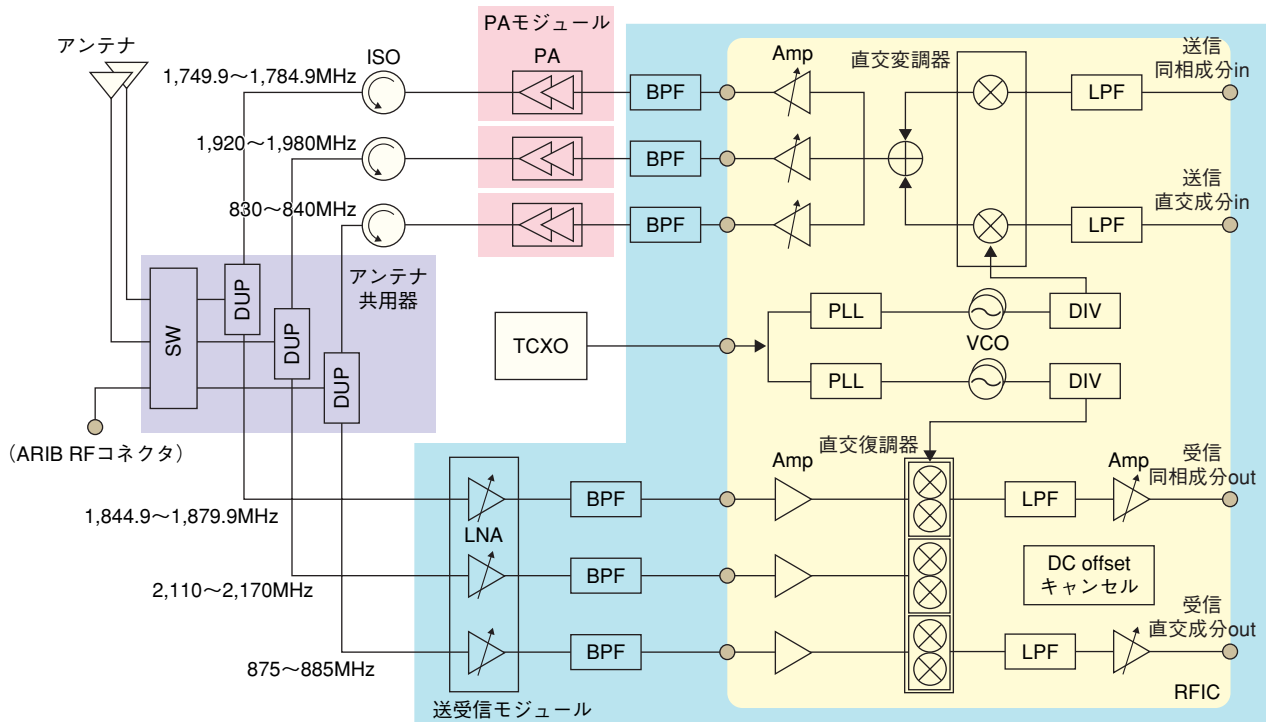
\*6 分周比 : 入力周波数を整数分の1の周波数に変換するときの比率。

\*7 電圧制御発信器 : 電圧を制御することにより、周波数を変化させること

ができる発振器。

\*8 整合回路 : 電気信号の品質を確保するため、伝送路内における出力回路と入力回路の間に生じる反射等による電力の損失を防ぐもの。アンテナでは給電線との間の伝送特性を上げるために使用し、効率的な電力変換を可能とするもの。

\*9 電力付加効率 : 増幅器に供給された電力に対して、出力される電力の比。



- Amp (Amplifier)：増幅器。
- BPF (Band Pass Filter)：帯域通過フィルタ。
- LPF (Low Pass Filter)：低域通過フィルタ。
- DC offsetキャンセル：ダイレクトコンバージョン方式で発生する直流成分を除去すること。
- DIV (DIVider)：分周器。入力周波数を整数分の1の周波数に変換する回路。
- DUP (DUPllexer)：アンテナ共用器。
- ISO (ISOlator)：アイソレータ。送信波を通過させ反射波を阻止させる方向性部品。
- PLL (Phase-Locked Loop)：位相同期回路。基準周波数と出力信号の周波数を同期させる回路。
- SW (SWitch)：切替機。
- TCXO (Temperature Compensated Crystal Oscillator)：温度補償水晶発振器。温度に対する周波数の偏りを補正する機能を備えた水晶発振器。

図2 902iSシリーズ無線部構成例

には適さない。一方、近年W-CDMA用として性能の優れた弾性表面波（SAW：Surface Acoustic Wave）アンテナ共用器<sup>\*10</sup>が開発され、これにアンテナスイッチなどを複合化したモジュール構成とすることで、全体として特性を高めながら小型化が可能となった。この構成により、900iシリーズよりも約20%の実装面積削減が図れた。

以上により、これまでと同等以上の性能を確保しつつ、マルチバンド無線部の小型化を実現することができた。性能の一例として、各バンドの送信スペクトル特性の測定結果を重ね合わせたものを図3に示す。各バンドにおいて特性差はなく、規格値に対して十分のマージンが得られている。

900iSシリーズからの無線部実装面積遷移の一例を図4に示す。900iシリーズの無線部実装面積を1とした比較であ

る。今回開発した902iSシリーズでは、PAモジュールの割合が増加しているが、全体としてシングルバンド移動端末と同等サイズでマルチバンド移動端末が実現できた。

#### 4. マルチバンドをサポートするアンテナ開発

移動端末のアンテナ性能は、効率的なエリア設計とユーザ通信品質を大きく左右する重要な要素であることから、ユーザ満足度の高い移動端末を実現するためには、実際の利用シーンに着目した高性能なアンテナの実現が求められている。

内蔵化の進む移動端末用アンテナにおいて、筐体内におけるアンテナ実装スペースの確保が必要不可欠である。しかしながら、商品性の観点からはデザイン性との両立が求

\*10 弾性表面波アンテナ共用器：1つのアンテナを送受信で共用するために、送信と受信の周波数を分離する部品。SAWの性質である急峻な通過特性を利用したフィルタにより構成されている。

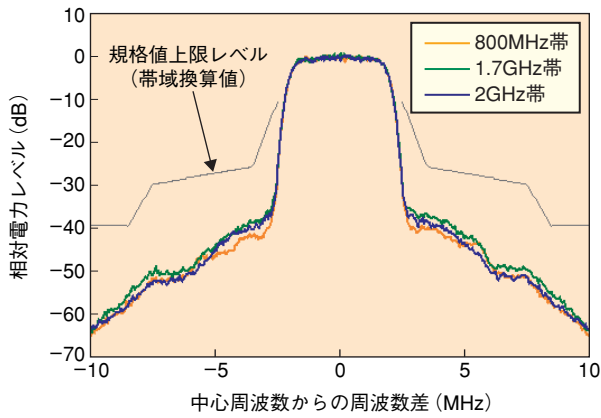


図3 送信スペクトル波形

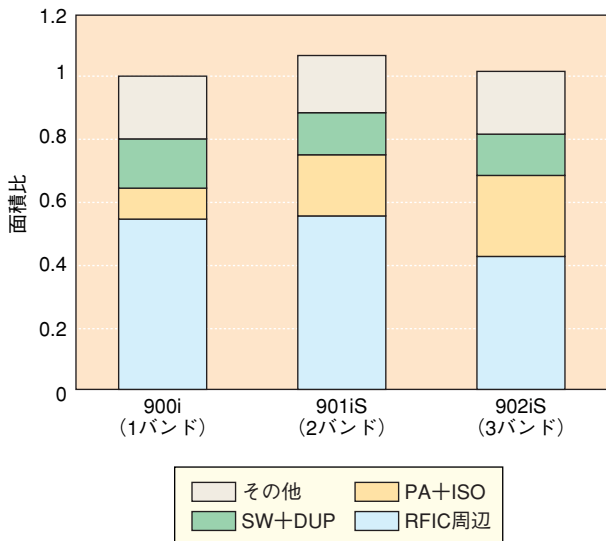


図4 無線部実装面積遷移例

められており、限られた容積において十分な性能を有するアンテナの開発が必要とされている。

今回のマルチバンド移動端末についても、以上の点を前提にアンテナ開発を行った。現在、FOMA端末のアンテナは金属の板を加工してアンテナ素子を構成する板金タイプが主流である。これはアンテナ素子の配置やパターン形成の自由度が高いためであり、マルチバンド化にもこのタイプのアンテナを用いて検討を行った。マルチバンドアンテナの原理構成を図5に示し、その設計法を以下に説明する。

#### 4.1 アンテナ素子および筐体構造の設計

アンテナ素子の設計において、800MHz帯の追加に対し

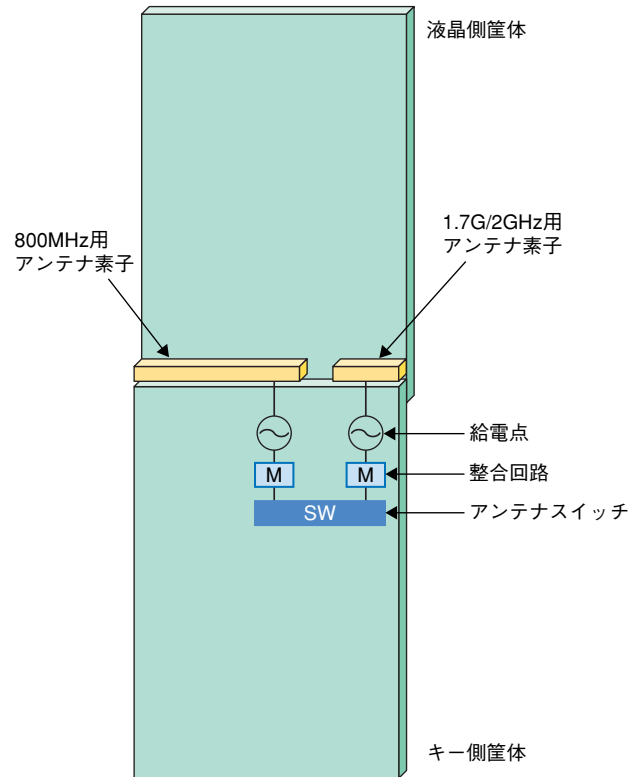


図5 マルチバンドアンテナの原理構成

では、movaシリーズで採用されているアンテナ設計のノウハウを活用した。これは、2GHzと800MHzの周波数間隔は十分に離れており、電気的結合によりアンテナ性能が劣化する影響が少ないためである。結果として、従来と同等の性能でデュアルバンド化を実現した。

一方、2GHz/1.7GHz/800MHzアンテナは、2GHz/800MHzアンテナをベースとして設計した。ここで、1.7GHz帯は2GHz帯と周波数が近いいため、アンテナ素子の実現方法として以下の2つが考えられる。

- ① 1.7～2GHzをカバーする広帯域アンテナ素子の設計
- ② 1.7GHz帯に共振する独立アンテナ素子の追加

しかしながら、初期検討の結果、901iSモデルと同容積で目標性能を満足させることは困難であり、目標性能を満足させるためには両方法とも実装容積の増大が必要となることが明らかになった。そこで図6に示すように目標性能達成に向けて、アンテナ素子および筐体構造に着目したアンテナ設置条件の最適化を実施した。

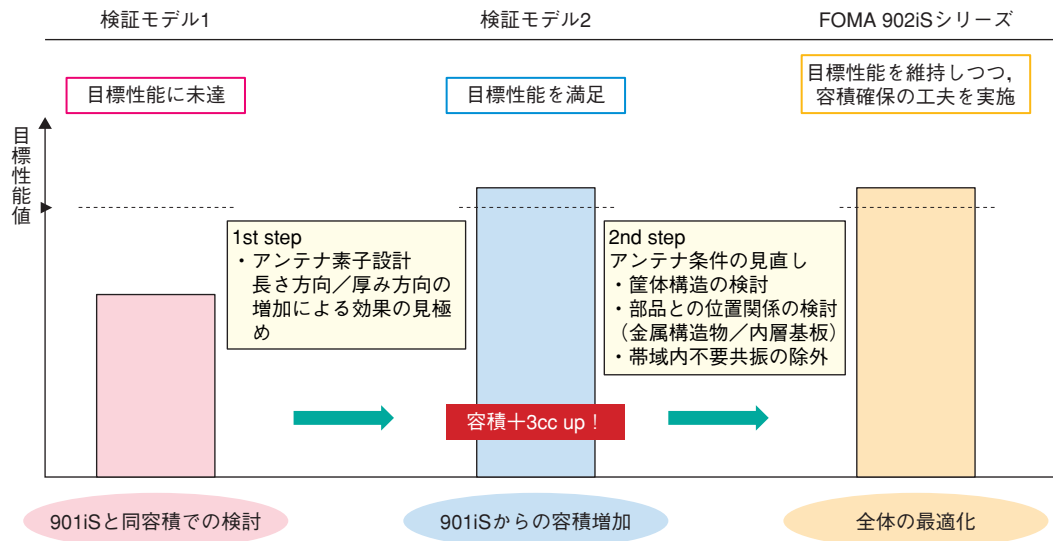


図6 目標性能値の達成に向けた最適化

まず、アンテナ素子の最適化では、移動端末の長さ方向および厚み方向への容積の増加による性能改善効果を定量的に分析することで、性能確保に必要な最小限の容積増分（容積+3cc増）を導き出した。その後、この結果を受けて筐体設計において、筐体の剛性を保つために使用しているMg合金を非金属である硬化型樹脂へ変更、アンテナ素子に近接する金属構造物との位置関係や内層基板との物理的距離を確保するなどの対策を行うことにより、移動端末の外見的な変更は生じないようにアンテナ設置に適した条件をつくり出していった。

この結果として、筐体の容積増を「0.5cc」に抑えながら、従来の2GHz帯および800MHz帯の性能を劣化させることなく、1.7GHz帯アンテナを実現することができた。

マルチバンドアンテナの周波数特性を図7に示す。図では各周波数におけるアンテナ入力電力に対する反射特性を示している。ここで、反射量は入力信号がアンテナ給電点に戻ってくる電力量を表していることから、反射量が小さいことは空間中へ効率的に電力変換が行われていることを意味している。図7において、ドコモが使用できる周波数帯において反射量が小さくなっており、3バンドアンテナが実現できていることが分かる。また、この特性は①の手法での実現例であり、1.7~2GHzの広帯域で反射量が小さくなっていることが分かる。

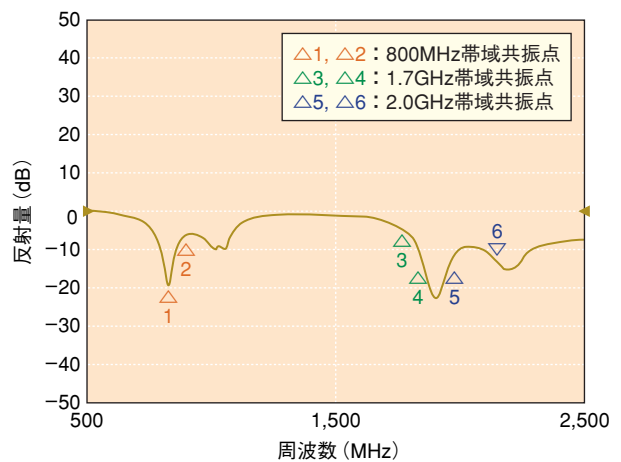


図7 周波数特性

## 4.2 実使用時の性能の安定化

小型移動端末での高効率なアンテナ設計においては、筐体自体に生じる損失を低減させることで、放射効率を上げることが可能となる。また、内部基板をGND (GrouND)として利用するアンテナでは、基板どうしの接続条件や筐体の開閉時においてGNDの大きさが変化するため、アンテナ性能に大きく影響を及ぼす。

本マルチバンドアンテナにおいては、前述の課題を克服するため、周波数ごとに適切な整合回路を切替えて用いる方式を採用し、筐体上に生じる劣化要因を排除することで性能の安定化を図った。

### 4.3 人体からの影響

FOMA端末のユーザによる実使用状態（通話状態、データ通信状態など）を想定した場合、アンテナから放射された電力の一部は人体に吸収され、アンテナ性能は劣化する。また、人体側頭部のそばで使用する通信機器は、電波防護指針である局所SAR（Specific Absorption Rate）<sup>\*11</sup> 基準値を満たす必要がある。

現状のFOMA端末のアンテナの多くはヒンジ機構<sup>\*12</sup>部に実装されているが、マルチバンド移動端末に関してもこれを前提として、人体による影響の軽減を図った。筐体デザインにもよるが、具体的な最適化手法として以下を用いた。

- ①アンテナ素子を形成する際のレイアウトや配置位置の最適化
- ②メインのマルチバンドアンテナの性能を補うためのサブアンテナ実装とその選択制御

①については、主に実際のユーザ使用環境や移動端末の保持状態を想定し、この両状態でアンテナ性能のバランスを取るために劣化量のコントロールを行い最適化した。②については、多様な使用状況に応じてメインアンテナの性能を補完する目的として実装した。これらの工夫を行うことで、実使用状態である通話使用・データ通信使用の両状態において人体からの影響の軽減を図ることができた。

## 5. あとがき

本稿では、マルチバンド移動端末における無線回路部およびアンテナ構成について解説した。マルチバンド移動端末の実現により、トラフィックを複数の周波数帯に分散させることが可能となる。また、都心部などトラフィック集中エリアから山間部エリアまで、最適な周波数帯を意識す

ることなく利用することが可能となり、さらなるユーザ利便性の向上が期待できる。

### 文献

- [1] 中長期における電波利用の展望と行政が果たすべき役割—電波政策ビジョン—（平成15年7月 総務省 情報通信審議会 諮問第7号 答申資料）
- [2] 3GPP: “TS25.101: User Equipment (UE) radio transmission and reception (FDD),” Dec. 2005.
- [3] 千葉, ほか: “PDC方式の周波数拡大特集 —アナログ帯域のデジタル化—「3 移動機」,” 本誌, Vol. 4, No. 4, pp. 16-19, Jan. 1997.
- [4] 岡崎, ほか: “複数の周波数帯に対応可能な高効率電力増幅器,” 本誌, Vol. 13, No. 1, pp. 13-19, Apr. 2005.

\*11 SAR: 移動端末から放射される電磁波の人体における比吸収率。

\*12 ヒンジ機構: ちょうつがいのように2つの部分をつなぎ止め、開閉できるような構成。折りたたみ式携帯電話でも使用されている。